

**В.П. ЧВІРУК**, докт. техн. наук, **А.І. КУШМИРУК**, канд. техн. наук,  
**О.І. БУКЕТ**, канд. техн. наук, **О.В. ЛІНЮЧЕВА**, канд. техн. наук,  
**С.В. НЕФЕДОВ**, НТУУ "КПІ", Київ

## **МОДУЛЬНА СТРУКТУРА ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ СЕНСОРІВ ТА ГЕНЕРАТОРІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА**

Для дистанційного визначення дієздатності та діагностики сенсорних систем і оперативного моніторингу повітряного середовища запропоновані модулі у складі мініатюрних електрохімічних сенсорів та генераторів визначуваних газів. Розглянута структура модулів, що містять незалежні сенсори та генератори і електрохімічні комірки зі спільним допоміжним та незалежними робочими електродами сенсорів і генераторів.

For remote determination of serviceability and diagnostic of sensor systems and for operative monitoring of air-slaked medium modules consisting of miniature electrochemical sensors and generators of determined gases are offered. The structure of modules containing independent sensors and generators and electrochemical cells with common auxiliary and independent working electrodes of sensors and generators examined.

**Вступ.** Нагальна потреба у технічних засобах для моніторингу повітряного середовища при вирішенні задач екологічної безпеки, промсанітарії та контролю технологічних процесів сприяла бурхливому розвитку електрохімічних газових сенсорів. У НТУУ "КПІ" авторами розроблена і випускається уніфікована серія електрохімічних газових сенсорів на основі твердих протонпровідних і матричних електролітів, які знайшли широке застосування у газоаналітичному приладобудуванні в Україні та за її межами [1].

Визначення вмісту газових домішок електрохімічними сенсорами є відносним, тобто достовірність результатів моніторингу токсичних домішок у повітрі, а отже, і ефективність застосування газоаналітичних систем на основі електрохімічних сенсорів, визначають частота їх діагностики та точність калібрування, які проводять за допомогою еталонних газових сумішей, що звичайно отримують на установках динамічного змішування з використанням балонних газових сумішей, хімічних і електрохімічних генераторів [2, 3]. Перспективними є останні, які відрізняються компактністю, великим терміном зберігання та автономністю. У НТУУ "КПІ" авторами розроблені електрохімічні мікрогенератори кисню, водню, хлору та сірководню, які викорис-

товують у дозаторах еталонних газових сумішей [4].

Метою даної роботи є створення та експериментальне дослідження електрохімічних модулів, у яких суміщені функції амперометричних сенсорів і генераторів для їх діагностики та калібрування, що дозволяє виключити застосування та суттєво підвищити техніко-економічні показники газоаналітичних систем різноманітного призначення. В електрохімічних модулях діагностики та калібрування сенсорів здійснюють за допомогою заданої кількості визначуваного газу, що утворюється в генераторі.

**Вибір напрямку та методика досліджень.** З урахуванням кінетики перебігу електродних реакцій на газодифузійних електродах в електрохімічних сенсорних комірках з твердим протонпровідним і матричним електролітами можливі дві принципово різні структури електрохімічних модулів. Якщо до складу модуля входить електрохімічний сенсор визначуваного газу на основі твердого протонпровідного електроліту, то доцільно його об'єднати з генератором цього газу на основі матричного електроліту. При планарному розташуванні сенсора та генератора вони з'єднані дифузійним каналом, по якому визначуваний газ із генератора в умовах дифузії поступає на робочий електрод сенсора. Електричні кола цих складових модуля незалежні і включають вимірювальний контур для сенсора та контур генератора, що містять джерело постійного струму. Для електрохімічних сенсорів з матричним електролітом оптимальною є структура модуля, що містить спільний для сенсора та генератора допоміжний електрод і відокремлені сепаратором, але об'єднані електролітом робочі електроди сенсора та генератора. Конструктивно доцільно виконувати робочі електроди модуля в одній геометричній площині. Ці електроди також мають бути об'єднані спільним газовим проміжком.

У даній роботі, на прикладі модуля у складі генератора хлору і сенсора, що являють собою незалежні електрохімічні системи, досліджено режими роботи таких систем. Технологія виготовлення сенсорів і генераторів ґрунтується на пошаровому пресуванні окремих функціональних шарів з наступним монтажем у корпусі з діелектрика. Сенсор для визначення концентрації хлору в повітрі та генератор виконані у вигляді спресованих таблеток діаметром 18 мм і висотою 5 мм. Габарити чутливого елемента і генератора дозволяють компонувати їх у вигляді єдиного модуля. Діагностика сенсора здійснюється при подачі на нього по дифузійному каналу в імпульсному або в стаціонарному режимі газу, що утворюється на генераторі.

**Результати та їх обговорення.** На рисунку наведені залежності вихідного сигналу сенсора при подачі на сенсор еталонної хлороповітряної суміші з вмістом хлору  $100 \text{ мг/м}^3$  (крива 1). Криві 2 – 5 ілюструють зміну вихідного сигналу сенсора в часі при пропусканні через генератор імпульсів струму 1,5; 2; 3 і 4 мА відповідно на протязі 230; 105; 52 і 40 с. Як видно, в усіх випадках сенсор відпрацьовував вихідний сигнал, достатній для діагностики. Ресурс мікрогенератора дозволяє при імпульсі 4 мА тривалістю 40 с провести 1750 діагностувань сенсора. Експериментально показано відтворюваність вихідних сигналів сенсора для заданих режимів роботи генератора при щоденній діагностиці сенсора хлору протягом року. При силі струму 1,5 мА тривалість досягнення стаціонарного режиму генерації хлору перевищує півгодини, що неприйнятно для засобу діагностики сенсора з часом одержання достовірного сигналу менше однієї хвилини. Аналогічні результати отримані і для модулів у складі генератора водню або сірководню і твердоелектролітного протонпровідного сенсора відповідно водню або сірководню.

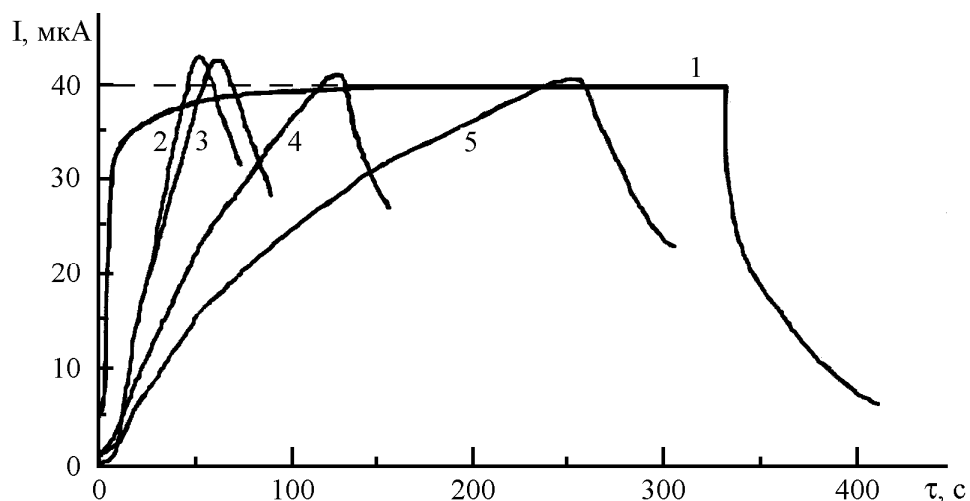


Рисунок – Тривалість встановлення вихідного сигналу сенсора, що відповідає еталонній концентрації хлору  $100 \text{ мг/м}^3$  (1), в залежності від сили струму генератора, мА:  
2 – 4,0; 3 – 3,0; 4 – 2,0; 5 – 1,5.

Досліджено сенсорний модуль, в якому робочі електроди сенсора та генератора хлору розташовані в одній площині та розділені сепаратором з діелектрика, а допоміжний електрод і матричний електроліт сенсора та генератора є спільними. На робочому електроді генератора відбувається реакція окиснення хлорид-іонів, що входять до складу електроліту, до молекулярного хлору, який дифундує через газову фазу до робочого електрода сенсора, де і відновлюється до хлорид-іонів з генерацією струму, прямо пропорційного

концентрації хлору. Досліди, проведені в імпульсному режимі роботи генератора, показали, що в порівнянні з першою модифікацією модуля час досягнення одного і того ж значення вихідного сигналу сенсора при однаковій силі струму на генераторі скорочується в 4 – 5 разів. Встановлена пряма пропорційна залежність між силою струму генератора при постійному часі імпульсу та висотою піка струмового сигналу сенсора. У випадку електрохімічного модуля водню на робочому електроді генератора відбувається відновлення іонів водню з утворенням водню, а у випадку електрохімічного модуля сірководню – відновлення сульфідів металу з утворенням металу та виділенням сірководню. Останній варіант модуля дає можливість інтегрувати сенсор і генератор у мініатюрну систему з перспективою її застосування у переносних газоаналізаторах і розгалужених сенсорних системах.

**Висновки.** Таким чином, при застосуванні електрохімічних модулів у газоаналітичному обладнанні для моніторингу повітряного середовища зникає потреба у застосуванні еталонних газових сумішей та спеціального обладнання для систематичної діагностики і періодичного калібрування електрохімічних газових сенсорів. Досягнуто можливість дистанційного визначення дієздатності та діагностики сенсорних систем. Впровадження електрохімічних модулів суттєво підвищує техніко-економічні показники електрохімічних сенсорів, у тому числі їх надійність, точність і достовірність вимірів, при зменшенні вартості процедур діагностики та калібрування.

***Робота виконана за сприяння МОН України, договір №0106U0002443.***

**Список літератури:** 1. Чвірук В.П., Лінючева О.В., Кушмирук А.І. та ін. Електрохімічні газові сенсори для моніторингу повітряного середовища // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск: «Новая идеология», 1999. – № 1. – С. 359 – 362. 2. Коллеров Д.К. Газоанализаторы. Проблемы практической метрологии. М., 1980. – 174 с. 3. Рейман Л.В. Техника микродозирования газов. – Л., 1985. – 224 с. 4. Кушмирук А.И., Чвирук В.П. Электрохимический дозатор сероводорода. // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – № 16. – С. 92 – 95.

*Надійшла до редколегії 07.04.08*